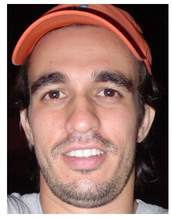
Força entre Correntes



Autor: Rafael Jurado Neto
Orientador: José Joaquim Lunazzi

Introdução

Nesse trabalho demonstraremos experimentalmente a força entre corrente elétrica, para isso iremos mostrar a atração e repulsão entre fitas como carga elétrica em movimento. Também será constatada a existência do campo magnético da Terra.

Para a realização deste experimento será utilizado material descartável, facilitando a montagem do experimento e possibilitando que qualquer pessoa consiga fazê-lo, com isso haverá maior difusão do experimento, que ajudará os alunos a compreender melhor a força magnética.

Descrição do experimento

O experimento ira demonstrar a atração e repulsão de fitas de alumínio por causa da interação magnética. Quando passarmos uma corrente pelas fitas, estas produzirão um campo magnético e dependendo do sentido da corrente das fitas o correrá atração ou repulsão.

Primeiro caso:

Nesse primeiro caso iremos montar o experimento de forma que as correntes nas fitas tenho mesma direção e sentido, ver figura 1-1.

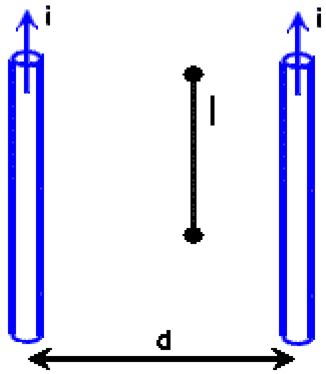


Figura 1-1: Representação da corrente nas fitas de alumino.

As corrente que passam pelas fitas terão o mesmo valor, pois as fitas se comportaram como resistores em paralelo, e como o comprimento das fitas é os mesmo logo sua resistência também será a mesmo, com isso a corrente total da bateria serão divididas igualmente para as duas fitas.

Podemos encontrar a direção e sentido do campo magnético usando a regra da mão direita (ver apêndice), ver figura 1-2.

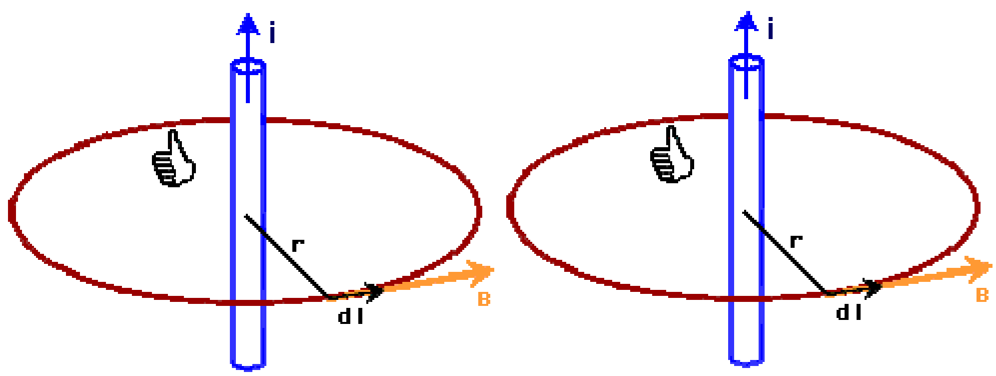


Figura 1-2: Direção do campo magnético nas fitas.

Com a direção e sentido do campo magnético, temos com encontrar a direção e sentido da força magnética. Para isso iremos usar a relação que existe entre velocidade, a força e o campo magnético (ver apêndice). Com isso sabemos se ocorrerá atração ou repulsão entre as fitas, ver figura 1-3.

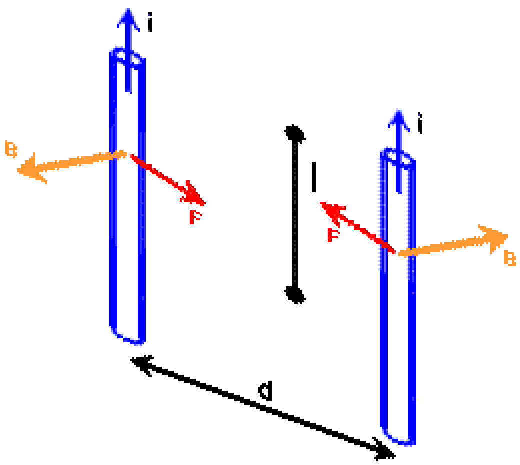


Figura 1-3: Representação da direção e sentido da força magnética, campo magnético e corrente elétrica.

Como podemos constatar esta neste caso as fitas estão se atraindo. Para saber o modulo da força magnética, primeiro temos que encontra o campo magnético, podemos obtê-lo a partir da equação (E 18):

$$B = \mu_0 i / (2\pi r)$$

onde: μ_0 é uma constante, i é a corrente na fita, r é à distância onde quero calcular o campo magnético.

Após obter o valor do campo magnético temos como calcular o valor da força magnética, usando a equação (E 19)

$$F = \mu_0 l i^2 / (2\pi d)$$

onde: l é o comprimento da fita, d é à distância entre as fitas.

Assim sabemos qual o modulo da força de atração entre as fitas.

Segundo caso:

Nesse segundo caso iremos montar o experimento de forma que as correntes nas fitas tenho mesma direção e sentido contrario, ver figura 1-4.

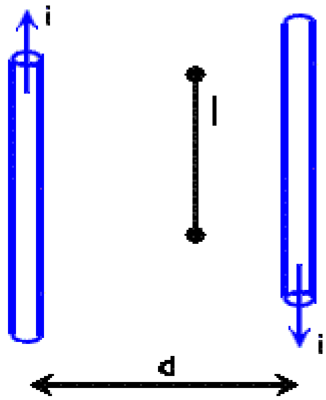


Figura 1-4: Representação da corrente nas fitas de alumino.

As corrente que passam pelas fitas terão o mesmo valor, pois as fitas se comportaram como resistores em série, com isso a corrente total da bateria será igual à corrente que passa nas duas fitas.

Podemos encontrar a direção e sentido do campo magnético usando a regra da mão direita (ver apêndice), ver figura 1-5.

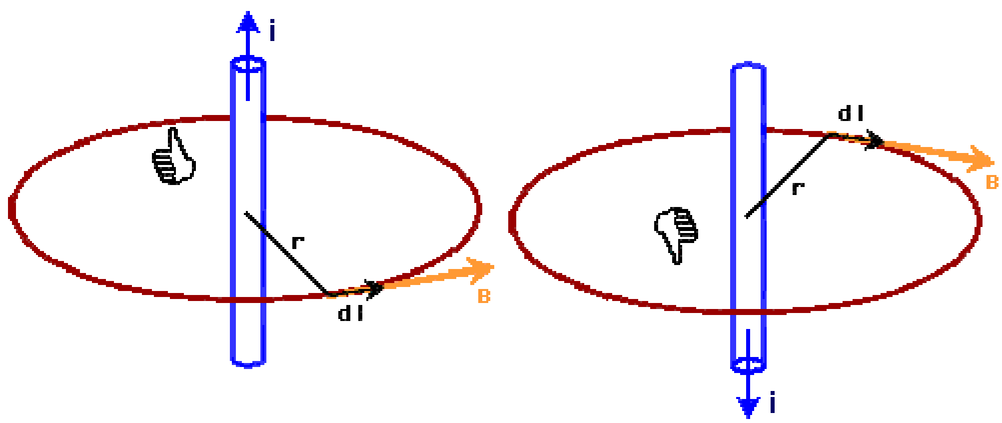


Figura 1-5: Direção do campo magnético nas fitas.

Com a direção e sentido do campo magnético, temos com encontrar a direção e sentido da força magnética. Para isso iremos usar a relação que existe entre velocidade, a força e o campo magnético (ver apêndice). Com isso sabemos se ocorrerá atração ou repulsão entre as fitas, ver figura 1-6.

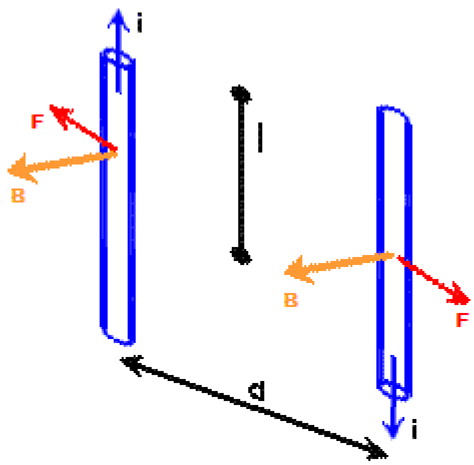


Figura 1-6: Representação da direção e sentido da força magnética, campo magnético e corrente elétrica.

Como podemos constatar esta neste caso as fitas irão se repelir. Para saber o modulo da força magnética primeiro temos que encontra o campo magnético, podemos obtê-lo a partir da equação (E 18):

$$B = \mu_0 i / (2\pi r)$$

onde: μ_0 é uma constante, i é a corrente na fita, r é à distância onde quero calcular o campo magnético.

Após obter o valor do campo magnético temos como calcular o valor da força magnética, usando a equação (E 19)

$$F = \mu_0 l i^2 / (2\pi d)$$

onde: l é o comprimento da fita, d é à distância entre as fitas.

Assim saberemos qual o modulo da força de repulsão entre as fitas.

Terceiro caso:

Nesse terceiro caso iremos montar o experimento de forma que só haverá uma fita, pois queremos comprovara a existência do campo magnético Terrestre.

Como a fita produz um campo magnético este campo ira interagir com o campo Terrestre, e se houver esse intersão entre a fita e o campo terrestre a fita deve se movimentar.

O movimento da fita dever ser perpendicular a direção do campo magnético da Terra. Isso se deve pela regra da mão direita. Nesse caso só iremos fazer um demonstração qualitativa.

Experimento

Materiais usados

- Garrafas pet de dois litros.
- Papel alumínio.
- Pilhas.
- Fita adesiva.

Obs: As dimensões das fitas, quantidades de pilhas e outros dados serão obtidos a partir de vários testes experimentais.

Montagem do experimento

Usaremos as pilhas como fonte de corrente, as pilhas dever ser montada de forma que fiquem 4 pilhas em série ligadas em paralelo a mais 4 pilhas em série, para que os efeitos consigam ser visualizados.
Nos casos 1 e 2 será usado o mesmo aparto, só iremos mudar as ligações entre as fitas. O comprimento das fitas é dado telo tamanho dos garrafas de pet unidas.

Passos para montar do aparato dos casos 1 e 2:

1. Retiramos o fundo de duas garrafas pet.

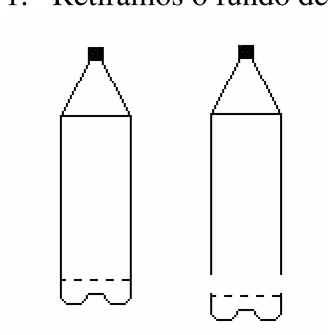


Figura 1-7: onde devemos cortar a garrafas.

2. Unimos as garrafas pelo fundo.

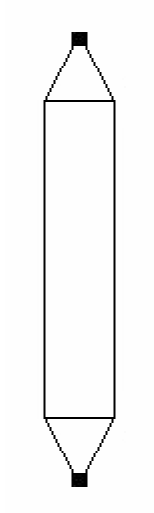


Figura 1-8: Garrafas unidas pelo fundo.

3. Fazemos um contar (tipo uma fenda) de aproximadamente 2mm no centro das duas tampas das garrafas, é por ai que as fitas irão passar.

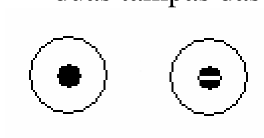


Figura 1-9: corte nas tampas.

4. Cortamos uma fita com o comprimento suficiente para passas pelas duas tampas das garrafas, e com largura de aproximadamente 15mm.
5. Cortamos uma outra fita também com o comprimento suficiente para passar pelas duas tampas, mas essa com largura de aproximadamente 5mm.
6. Passamos as duas fitas pelas tampas das garrafas, e fazendo com que elas fiquem paralelas.

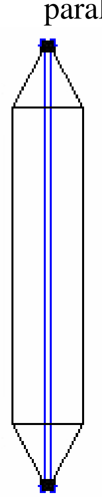


Figura 1-10: Esquema de como colocar as fitas.

7. Temos de fixar as fitas nas tampas das garrafas, podemos fazer isso amarrando um barbante entorno da tampa a fim de fixar as fitas na tampa.

8. A fita com largura de 15mm deve esta bem esticada.
9. A fita com largura de 5mm não pode estar muito esticada, pois ela que ira se movintar.

Passos para montar do aparato do caso 3:

1. Retiramos o fundo de duas garrafas pet.

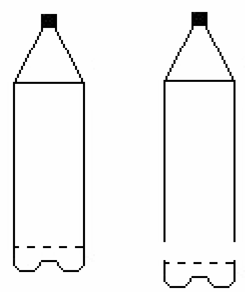


Figura 1-11: onde devemos cortar a garrafas.

2. Unimos as garrafas pelo fundo.

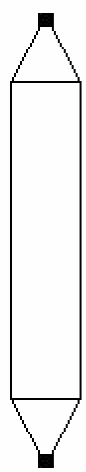


Figura 1-12: Garrafas unidas pelo fundo.

3. Fazemos um contar (tipo uma fenda) de aproximadamente 2mm no centro das duas tampas das garrafas, é por ai que as fitas irão passar.

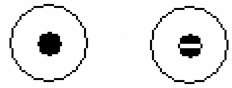


Figura 1-13: corte nas tampas.

4. Cortamos uma fita com o comprimento suficiente para passar pelas duas tampas, mas essa com largura de aproximadamente 5mm.

5. Passamos a fita pelas tampas das garrafas, e fazendo com que elas fiquem paralelas.

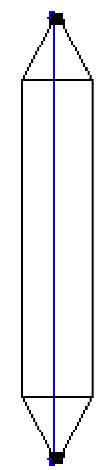


Figura 1-14: Esquema de como colocar a fita.

6. Temos de fixar a fita nas tampas das garrafas, podemos fazer isso amarrando um barbante entorno da tampa a fim de fixar a fita na tampa.
7. A fita não pode estar muito esticada, pois ela que ira se movintar.

O experimento

Caso 1:

Usando o aparato descrito na figura 1-10, temos de ligar as fitas nas baterias conforme o círculo abaixo.

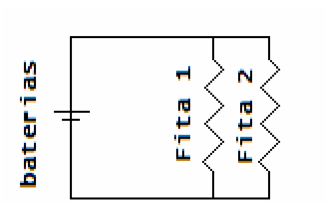


Figura 1-15: Circuito da caso 1.

A voltagem total fornecida pelas pilhas é de 6V ± 0,2V, e a corrente que passa por cada fita é de 4,6A ± 0,2A. Usando esses dados de voltagem e corrente na Lei de Ohm temos como saber a resistência da fita:

$$U = R.I \qquad \text{E - 1}$$

onde: U é a voltagem, I é a corrente e R é a resistência.

logo a equação (E – 1) resultara no valor da resistência da fita que é de 1,3 Ω ± 0,2 Ω

Para conseguirmos reproduzir o circuito da figura 1-15, temos de ligar as pilhas com as fitas da forma mostrada na figura 1-16.

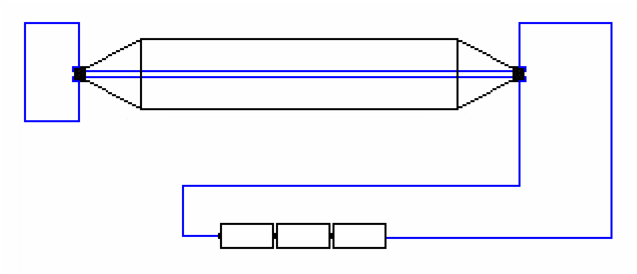


Figura 1-16: Como montar as pilhas com as fitas.

O comprimento das fitas é de 532mm ± 0,1mm, o erro neste caso é fortemente influencido pela paralaquis.
Usando os valor de corrente, voltagem e resistência temos como calcular o campo magnético e a força entre as fitas, para isso iremos usar as equações (E-18) e (E-19).

Calculando o campo magnético, usando a equação (E-18)

$$B = \mu_0 i/(2\pi r)$$

onde: i é a corrente, r é a distância entre as fitas.

$$B = \frac{4\pi.10^{-7}[Tm/A].4{,}6[A]}{2.\pi.0{,}002[m]} = 4{,}6\mu T \pm 0{,}01\mu T$$

Calculando a força entre as fitas, usando a equação (E-19).

$$F = \mu_0 l i^2/(2\pi d)$$

onde: l é o comprimento da fita, d é à distância entre as fitas.

$$F = \frac{4\pi.10^{-7}[Tm/A].0{,}532[m].4{,}6^2[A]^2}{2\pi.0{,}002[m]} = 11257{,}0\mu N \pm 0{,}01\mu N$$

Caso 2:

Usando o aparato descrito na figura 1-10, temos de ligar as fitas nas baterias conforme o círculo abaixo.

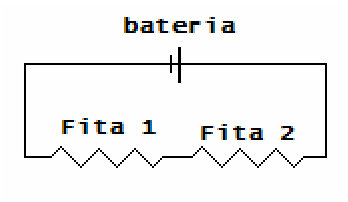


Figura 1-17: Circuito do caso 2.

A voltagem total fornecida pelas pilhas é de 6V ± 0,2V, e a corrente que passa por cada fita é de 2,2A ± 0,2A. Usando esses dados de voltagem e corrente na Lei de Ohm temos como saber a resistência da fita:

$$U = R.I \qquad \text{E - 1}$$

onde: *U* é a voltagem, *I* é a corrente e *R* é a resistência.

logo a equação (E – 1) resultara no valor da resistência da fita que é de 1,3 Ω ± 0,2 Ω

Para conseguirmos reproduzir o circuito da figura 1-17, temos de ligar as pilhas com as fitas da forma mostrada na figura 1-18.

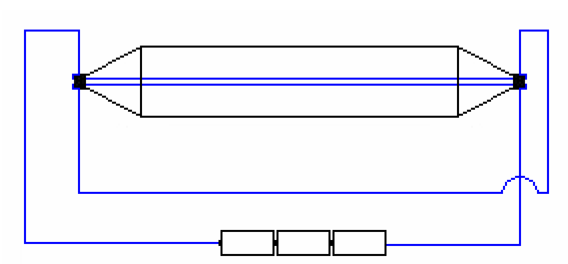


Figura 1-18: Como montar as pilhas com as fitas.

O comprimento das fitas é de 532mm ± 0,1mm, o erro neste caso é fortemente influencido pela paralaquis.
Usando os valor de corrente, voltagem e resistência temos como calcular o campo magnético e a força entre as fitas, para isso iremos usar as equações (E-18) e (E-19).

Calculando o campo magnético, usando a equação (E-18)

$$B = \mu_0 i/(2\pi r)$$

onde: i é a corrente, r é a distância entre as fitas.

$$B = \frac{4\pi.10^{-7}[Tm/A].2,2[A]}{2.\pi.0,002[m]} = 2,2\mu T \pm 0.01\mu T$$

Calculando a força entre as fitas, usando a equação (E-19).

$$F = \mu_0 l i^2 /(2\pi d)$$

onde: *l* é o comprimento da fita, *d* é à distância entre as fitas.

$$F = \frac{4\pi.10^{-7}[Tm/A].0{,}532[m].2{,}2^2[A]^2}{2\pi.0{,}002[m]} = 2574{,}8\mu N \pm 0{,}01\mu N$$

Caso 3:

O caso 3 é muito simples, pois só existe uma fita, e ela que irá defletir e com isso comprovar a existência do campo gravitacional. Para reproduzir o caso 3 basta ligas a fitas nas pilhas com mostra a figura 1-19

A voltagem total fornecida pelas pilhas é de 6V ± 0,2V, e a corrente que passa por cada fita é de 4,5A ± 0,2A. Usando esses dados de voltagem e corrente na Lei de Ohm temos como saber a resistência da fita:

$$U = R.I \qquad \text{E - 1}$$

onde: *U* é a voltagem, *I* é a corrente e *R* é a resistência.

logo a equação (E – 1) resultara no valor da resistência da fita que é de 1,3 Ω ± 0,2 Ω

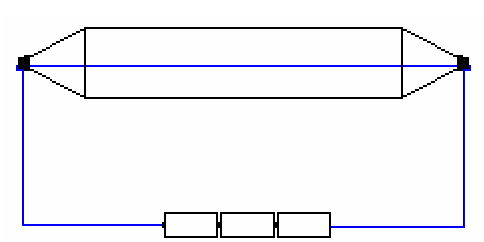


Figura 1-18: Como montar as pilhas com a fita.

Calculando o campo magnético por metro, usando a equação (E-18)

$$B = \mu_0 i /(2\pi d)$$

onde: i é a corrente, d é a distância entre as fitas.

$$B = \frac{4\pi.10^{-7}[Tm/A]4{,}5[A]}{2.\pi.d} = \frac{0{,}9}{d}\mu T \pm 0{,}01\mu T$$

Calculando a força entre as fitas, usando a equação abaixo (E-15)

$$F = liB$$

onde: l é o comprimento da fita, i é a corrente na fita e B é o campo magnético terrestre que é igual à 20mT.

$$F = 0{,}532[m]4{,}5[A]20.10^{-3}[T] = 48mN$$

Conclusão

Conseguimos demonstrar tudo que tínhamos previsto, entretanto tivemos alguns problemas.
Os principais problemas foram: fazer o contato entre as fitas de alumínio e as pilhas, ajustar as fitas para que elas ficassem paralelas e cortar o papel alumino, mas como orientamos a cima conseguimos superar todos os problemas.
Também conseguimos fazer os cálculos e descobrir os valores da resistência das fitas, o campo magnético e a força magnética nas fitas.
A resistência é 1,3 Ω ± 0,2 Ω, em todos os casos.
Para o caso da fitas ligadas em paralelo temos:

$B = 4{,}6\mu T \pm 0{,}01\mu T$ e $F = 11257{,}0\mu N \pm 0{,}01\mu N$

Para o caso da fitas ligadas em série temos:

$B = 2{,}2\mu T \pm 0.01\mu T$ e E $F = 2574{,}8\mu N \pm 0{,}01\mu N$

Para o caso em que comprovamos o campo terrestre temos:

$B = \dfrac{0{,}9}{d}\mu T \pm 0{,}01\mu T$ e $F = 48mN$
neste casso também conseguimos verificar a direção do campo magnético terrestre, o campo magnético terrestre direção perpendicular a direção do deslocamento da fita de alumínio.

Apêndice

Interação magnética e campo magnético

O fato de dois ímãs se atraírem ou se repelirem, dependendo das suas posições, pode sugerir a existência de "cargas magnéticas" similares às elétricas. Entretanto, tal modelo não deve ser considerado.

Cargas elétricas podem existir de forma isolada, mas não é possível separar espécies de magnetismo. Se um ímã for dividido em duas ou mais partes, estas serão simplesmente outros ímãs com as mesmas características de atração e repulsão do original. No modelo aceito, não existem cargas, mas sim dipolos magnéticos. Aos pólos são dados os nomes de norte e sul. E a interação entre os mesmos é a face mais visível do magnetismo: pólos idênticos se repelem e pólos opostos se atraem.

O conceito de campo magnético é similar ao do elétrico. O vetor do campo magnético *B* é chamado de indução magnética e as linhas que representam o campo são ditas linhas de indução. E as propriedades são as mesmas:

1. Uma tangente à linha de indução em um determinado ponto indica a direção do vetor B nesse ponto.

2. O número de linhas por unidade de área é proporcional ao módulo do vetor *B*. Isso significa que as linhas são mais próximas entre si onde *B* é maior e mais afastadas onde B é menor.

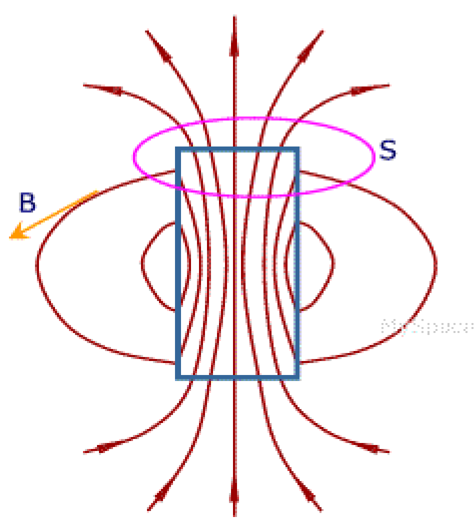


Figura A-1: Demonstração da linhas do campo magnético.

A figura A.1 dá uma indicação aproximada das linhas de indução em um ímã de formato cilíndrico.

O fluxo de campo magnético é dado de forma similar ao elétrico:

$$\phi_B = \int_S B ds \qquad \text{E 9}$$

Entretanto, a lei de Gauss para o magnetismo tem uma formulação diferente da eletricidade.

Na página anterior foi visto que, para uma superfície fechada, $\phi_E = q / \mu_0$, onde q é a carga elétrica no interior da mesma.

Desde que não há pólos magnéticos isolados, para uma superfície fechada como S da figura, devemos ter:

$$\phi_B = \int_S BdS = 0 \qquad \text{E 10}$$

Repetindo - isso é importante - a igualdade é válida se S for uma superfície fechada.

O modo de definição do campo magnético B também sofre a influência da não existência de pólos isolados. Desde que um campo magnético pode exercer uma força sobre uma carga elétrica, ele é definido pelo modo de interação de ambos.

Seja, conforme figura (A.2), uma carga elétrica q que se move com velocidade v e sobre a qual age uma força F Perpendicular a v. Então, a indução magnética no ponto da carga é o vetor B que satisfaz à relação:

$$F = qv \times B \qquad \text{E 11}$$

Ou seja, a força é o produto vetorial de qv pela indução magnética. E a direção de $v \times B$ pode ser vista pela conhecida regra da mão direita.

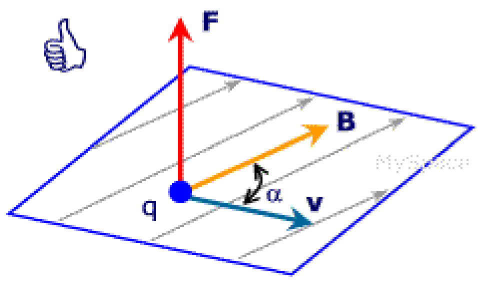


Figura A-2: Regra da mão direita.

Notar que, se v for nulo, F também será e isto significa que a interação eletromagnética só ocorre com cargas em movimento.

Se existe também um campo elétrico, podemos considerar a soma vetorial da força que ele exerce sobre a carga, resultando numa formulação mais genérica:

$$F = qE + qv \times B \qquad \text{E 12}$$

Esta é a chamada relação de Lorentz.

A unidade de B é N s $C^{-1}m^{-1}$, que no Sistema Internacional é chamada tesla (T). Uma unidade antiga, mas ainda possivelmente usada, é o Gauss (G) que equivale a 10^{-4}T.

O fluxo magnético tem como unidade SI o weber (Wb).

E o tesla pode ser também expresso em weber por metro quadrado (Wb/m2). Isso pode ser deduzido pela relação dimensional conforme igualdade (E 9): weber = tesla x área.

Ação magnética sobre uma corrente elétrica

Supomos um condutor retilíneo de seção circular uniforme de comprimento l e área transversal S, percorrido por uma corrente constante i e sujeito a uma indução uniforme B (Fig 1-3). A corrente flui com uma velocidade v.

Consideramos a grandeza densidade de corrente j, dada por

$$j = i / S \qquad \text{E 13}$$

Seja n o número de cargas elementares e (carga do elétron) por unidade de volume. Então o total de cargas no condutor é $q = n\ l\ S$ e, que passa por uma seção transversal num tempo dado por $t = l/v$.

A corrente $i = q/t = n\ l\ S\ e\ /\ (l/v) = n\ S\ v\ e$. Dividindo tudo por nS, temos: $v = i\ /\ n\ S\ e = j\ /\ (n\ e)$.

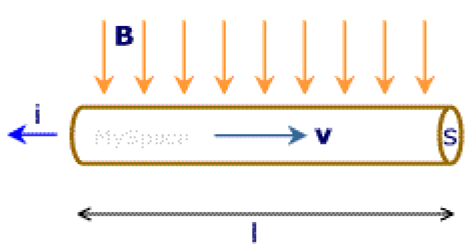


Figura A-3: Corrente e campo magnético em um fio.

Como a indução e velocidade são ortogonais, o módulo da força que atua sobre um elétron é:

$$F_e = evB = eBj / ne = jB / n \qquad \text{E 14}$$

No comprimento *l* existem *n S l* elétrons. Assim, a força total será *F* = *n S l Fe* = *n S l j B / n*.

Desde que *j S* = *i*, temos:

$$F = ilB \qquad \text{E 15}$$

Se considerarmos *l* um vetor que representa o comprimento do fio na direção de *i*, podemos escrever na forma vetorial:

$$F = il \times B \qquad \text{E 16}$$

Campo magnético produzido por uma corrente elétrica

Pelo exposto em tópicos anteriores, é lógico supor (e realmente ocorre) que uma corrente elétrica produz um campo magnético em torno do condutor. O inverso também pode ocorrer, isto é, um campo magnético pode produzir uma corrente elétrica em um condutor. Estes são os fenômenos mais importantes do eletromagnetismo. Sem eles, a energia elétrica teria muito pouca utilidade prática.

Lei de Ampère para o eletromagnetismo:

Diz que, de forma genérica, a relação entre o campo magnético produzido e a corrente no condutor é dada por:

$$\int_L Bdl = \mu_0 i \qquad \text{E 17}$$

onde: *B* é o vetor campo magnético, *dl* é vetor de comprimento infinitesimal ao longo da linha de indução e μ_0 é a constante de permeabilidade magnética que, para o vácuo, é igual a $4\pi 10^{-7} Wb/(Am)$.

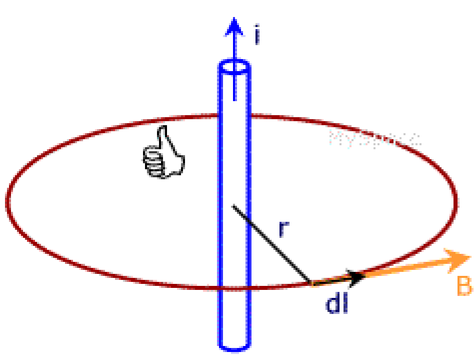


Figura A-4: Direção do campo magnético em um fio.

No caso de um condutor retilíneo de seção circular uniforme, a simetria leva à conclusão de que as linhas de indução são círculos concêntricos. Na figura (A-4) é representada apenas uma.

Como os vetores *B* e *dl* têm o mesmo alinhamento e a integral ao longo de uma circunferência é $2\pi r$, temos:

$$B 2\pi r = \mu_0 i \quad ou \quad B = \mu_0 i / (2\pi r) \qquad \text{E 18}$$

O resultado está conforme esperado: o campo aumenta com a corrente e diminui com o aumento da distância ao condutor.

O sentido de *B* é dado pela regra da mão direita conforme exibida na figura A-4.

Força entre condutores paralelos

Entre dois condutores de seção circular e paralelos, percorridos por correntes no mesmo sentido (Figura A-5), há uma atração mútua. Basta usar a regra da mão direita para achar os sentidos dos campos e forças. Se as correntes forem invertidas, existe repulsão.

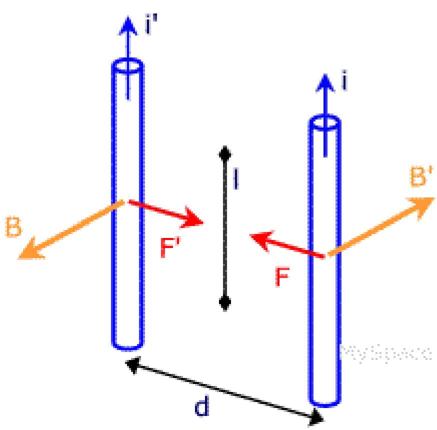


Figura A-5: Força magnética entre fios.

Usando a fórmula anterior, $B = \mu_0 i / (2\pi d)$. Como $F' = i' l \times B$, temos:

$$F' = \mu_0 l i i' / (2\pi d) \qquad \text{E 19}$$

, para um trecho de comprimento *l*.

Notar que *F* e F' têm a mesma intensidade, mas sentidos opostos.

Este resultado é usado no Sistema Internacional (SI) para a definição da unidade de corrente elétrica (Ampère):

Se $d = 1\ m$, $l = 1\ m$ e $i = i' = 1\ A$, basta aplicar o valor de μ_0 dado para obter $F = 2\ 10\text{-}7\ N$ por metro de condutor.

Bibliografia:

[1] "Introduction to Electrodynamics", David J. Griffiths.